Aus der IV. Medizinischen Universitätsklinik in Berlin am Städtischen
Robert Koch-Krankenhaus
(Direktor: Prof. Dr. Dennig)

Die Beeinflussung körperlicher Arbeitsleistung durch Alkalisierung mit Kalium-Salzen

---

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des

Medizinischen Doktorgrades

an der

Friedrich-Wilhelms-Universität

zu Berlin

vorgelegt von

Wolfgang Albath

aus Berlin

Tag der Promotion: 1. 8. 1940

Druck: Karl u. Richard Hoffmann, Charlottenburg, Schillerstr. 44.

M 187

Gedruckt mit Genehmigung
der
Medizinischen Fakultät der Universität Berlin

Dekan: Prof. Dr. L. Kreuz

Referent: Prof. Dr. Dennig

Korreferent: Prof. Dr. v. Bergmann

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Meinen Eltern

in Dankbarkeit gewidmet.

Bei Muskelarbeit entstehen im Körper bekanntlich große Mengen von Säuren, die aus dem Eiweiß- und Kohlehydratstoffwechsel stammen. Seit den Untersuchungen von Fletcher und Hopkin steht im Mittelpunkt des Interesses die bei der Arbeit entstehende Milchsäure.

Unter anderem fand Meyerhof, daß die Milchsäure zum größeren Teil wieder zu Glykogen aufgebaut werden kann, während etwa $^1/_5$ zu CO_2 und H_2O verbrannt wird.

Dies geschieht bei leichter und nicht allzu langdauernder Arbeit. Die von Hill, Long und Lupton auf den menschlichen Organismus übertragenen Untersuchungen ergaben, daß bei mittelschwerer Arbeit ein Gleichgewicht zwischen Bildung und Wegschaffen der Milchsäure vorhanden ist. Bei schwerer körperlicher Arbeit aber steigt der Milchsäurespiegel an, und zwar um so stärker, je größer die Arbeitsleistung in der Zeiteinheit ist.

Die Vermehrung der Wasserstoffionen im Blut ist als eine wesentliche Ursache für die Erschöpfung nach schwerer körperlicher Arbeit anzusehen.

Eine grobe Aenderung der Wasserstoffzahl ist aber mit dem Leben nicht vereinbar. Der Organismus verfügt über vielfältige Regulationsmechanismen, um das Säure-Basengleichgewicht des Blutes und der Gewebe zu erhalten. Bis andere Funktionen in Gang kommen, z. B. die Atmung oder die Nierenarbeit, werden wohl zuerst bei einem Angriff auf das Säure-Basengleichgewicht die im Blute vorhandenen Puffer in Anspruch genommen. Diese Puffereigenschaft des Blutes beruht auf seinem Gehalt an schwachen Säuren und deren Alkalisalzen; sie bewirken, daß sich die wahre Reaktion des Blutes nur geringfügig ändert.

Beim hochtrainierten Sportsmann ist nun eine Erhöhung der Alkalireserve festgestellt (Herxheimer). Auch Walinski fand eine Erhöhung der Alkalireserve gegen die Norm um etwa 10 %. Wahrscheinlich ist zum

Teil die erhöhte Alkalireserve für die größeren Erfolge der Trainierten verantwortlich zu machen; durch sie wird nach Schenk die kolloidschädigende Arbeitssäuerung der Fibrillen hinausgeschoben.

Schon Meyerhof und Matsuka sahen am isolierten Muskelpräparat bei Zusatz von Alkali zu der Umspülungsflüssigkeit, daß die Leistungsfähigkeit steigt.

Dennig, Dill und Talbot konnten in Arbeitsversuchen zeigen, daß durch Alkalizufuhr die körperliche Leistungsfähigkeit gesteigert wird. Nach ihren Ergebnissen wird durch Erhöhung der Neutralisationsfähigkeit des Blutes ein langsameres Ansteigen der Wasserstoffionenkonzentration erreicht und damit ein späteres Einsetzen der Erschöpfung. Umgekehrt zeigte sich nach Zufuhr acidotisch wirkender Stoffe eine Minderung der körperlichen Leistungsfähigkeit.

Walinski gibt schon im Jahre 1925 der Meinung Ausdruck, daß man in der Lage sei, durch Alkaligaben die Alkalireserve im Blut bei Sportsleuten in günstigem Sinne zu beeinflussen. Auch Brustmann erwähnt 1936, daß verschiedentlich bei Sportsleuten Versuche mit „künstlichen Salzwürzen" gemacht worden seien, „anscheinend mit Erfolg dann, wenn durch Zufuhr schwach basischer Verbindungen die Neutralisierung der durch Muskelarbeit erzeugten sauren Ermüdungsprodukte begünstigt wurde".

Seit den Untersuchungen von Dennig und Mitarbeitern wissen wir, daß die körperliche Leistungsfähigkeit in Alkalose gesteigert und in Acidose gemindert ist. In zahlreichen Untersuchungen konnten dann Dennig und seine Mitarbeiter die früheren Ergebnisse bestätigen und erweitern.

Zur Erzielung einer leistungsmindernden Acidose wurden Ammoniumchlorid und Calciumchlorid verwandt. Die leistungsteigernde Alkalose wurde durch Einnahme von Natrium bicarbonicum und Natrium citricum herbeigeführt. Durch diätetische Maßnahmen — säure- bzw. basenüberschüssige Kost — läßt sich wohl eine leichte Verschiebung des Säurebasengleichgewichtes im Blut erzielen; einfacher jedoch und in der Wirkung ungleich stärker ist die Anwendung von Salzen. Mit diesen Salzen konnten eindeutige

Wirkungen auf die körperliche Leistungsfähigkeit festgestellt werden.

Die bisher vorliegenden Untersuchungen wurden also mit den im Organismus alkalisierend wirkenden Salzen des Natrium durchgeführt.

Soweit es in der Therapie bei der künstlichen Uebersäuerung und Ueberalkalisierung nur auf allgemeine Wirkungen ankommt, z. B. auf den Harn, spielt die Zusammenstellung der wirksamen Kationen oder Anionen eine untergeordnete Rolle; in anderen Fällen, z. B. bei der Tetanie oder bei Herzkomplikationen ist deren Berücksichtigung außerordentlich wichtig. Die größere Rolle spielt dabei das Kation.

Auch zur Klärung der Frage des Wirkungsmechanismus der alkalotischen Leistungssteigerung muß die Frage nach den Verhältnissen bei einer Aenderung der Zusammensetzung der wirksamen Alkaligabe herangezogen werden.

Die Aufgabe meiner folgenden Untersuchungen ist, festzustellen, wie sich die körperliche Arbeitsleistung bei einer durch Kaliumsalze erzielten Alkalose verhält.

Im Muskelstoffwechsel kommt dem K-Ion eine wertvolle biologische Wirkung zu. Bekannt ist der hohe K-Blutwert hochtrainierter Sportsleute, der sowohl durch seinen alkalotischen Einfluß wie durch die Ionenwirkung die neuromuskuläre Erregbarkeit erhöht (Schenk); zu reiche Kaliumzufuhr, z. B. durch Kartoffeln, kann bei diesen eine latente Tetanie zum Ausbruch bringen.

Es ist eine wohlbekannte Tatsache, daß das K-Ion und das Na-Ion im Organismus voneinander unabhängige Funktionen haben. Für die vorliegende Untersuchung ist wohl der wichtigste Unterschied, daß das K-Ion diuretisch wirkt, während das Na eine zumindest anfängliche Wasserretention in den Geweben hervorruft.

Wenn Kalium-Salze intravenös in den Organismus eingeführt werden, können sie plötzliche, toxische Wirkungen am Herzen in Form von Kammerflimmern hervorbringen; intraarteriell gegeben, verlieren sie z. T. diese Wirkung (Keith und Binger). Per os kann Kalium in ziemlich hohen Dosen eingenommen werden, ohne daß es eine schä-

digende Wirkung ausübt. Ursache der Giftwirkung ist die hohe Konzentration, in der das K-Ion nach intravenöser Injektion beinahe sofort den Herzmuskel erreicht.

Die Niere besitzt die Fähigkeit, das Kalium im Harn stark zu konzentrieren und schnell auszuscheiden. In unserer Nahrung nehmen wir täglich einige Gramm Kalium zu uns; bekannt sind auch die irischen Arbeiter, die hauptsächlich Kartoffeln essen und damit täglich ungefähr 40 bis 50 g K ohne toxische Wirkungen zu sich nehmen. (Poulsson, Keith u. Binger). Die Diurese ist das eindeutige Zeichen, daß das Kalium den Körper schnell wieder verläßt; bei Oligurie ist mit weiterer Zuführung sofort aufzuhören.

Wie weit neben der alkalotischen Wirkung des K-Ions (Schenk, Weiß und Dunay) und der Heraufsetzung der neuromuskulären Erregbarkeit (Schenk) diesem für die Muskelarbeit spezifische Funktionen zukommen, ist aus der vorliegenden Literatur nicht einwandfrei ersichtlich. Die Ergebnisse sind auch zumeist am isolierten Muskelpräparat gewonnen. Die Tatsache, daß die trainierte Muskulatur an Kaliumgehalt zunimmt, andererseits das K-Ion toxisch wirken kann, auch daß durch Verschiebung des K-Ca-Gleichgewichts eine Tetanie hervorgerufen werden kann, zeigt, daß dem K-Ion besondere Wirkungen zukommen. Der Aschengehalt der Muskulatur an Kalium nimmt nach Bruman durch Training um 20 % zu. Später finden Bruman und seine Mitarbeiter nach einer längeren Zufuhr von täglich 5 g Kalium in Form von KCl, daß der Nutzeffekt der Arbeit, gemessen am Sauerstoffverbrauch bei Mensch und Tier besser ist; dennoch sei subjektiv die Arbeitsleistung mühsamer, die Erschöpfung trete rascher ein, die Leistungsfähigkeit sei dadurch vermindert.

Wieweit nun eine im menschlichen Organismus durch Kalium-Salze erzielte Alkalose auf die körperliche Leistungsfähigkeit einwirkt, soll in den vorliegenden Versuchen untersucht werden.

Methodik.

Die von mir in den folgenden Selbstversuchen geleistete körperliche Arbeit bestand in erschöpfendem Treten auf einem Fahrradergometer.

Das Treten erfolgte gegen einen gleichmäßigen Widerstand, bestimmt durch ein in den Stromkreis des Bremszaunes eingeschaltetes Voltmeter, und mit gleichmäßiger Umdrehungszahl nach Taktangabe mittels eines Metronomes.

Ich fuhr bis zum subjektiven Gefühl der Erschöpfung. Die Zeichen des Eintritts der Erschöpfung bestanden in einem Mischzustand der Erscheinungen zentralen und peripheren Versagens: Muskelinsuffizienz, Muskelkrämpfe, Atemnot, Uebelkeitsgefühl mit Aufstoßen, Schwarzwerden vor den Augen und Störungen des Vorstellungsablaufes in wechselnder Menge und Stärke der Symptome.

Gemessen wurde also als Ausdruck der Arbeitsleistung die maximale Zeit bis zur Erschöpfung.

Die Frage nach der Erschöpfung steht wie bei allen Fragen in der Arbeitsphysiologie, die sich mit der Rationalisierung der Arbeit beschäftigen, so auch in den vorliegenden Versuchen im Mittelpunkt. Bei aller Genauigkeit der objektiven Meßmethoden ist jedoch mit einem subjektiven Fehler zu rechnen, durch den das Gefühl der Erschöpfung verändert werden kann. Es ist bekannt, daß lustbetonte Affekte und Unlustgefühle das Bild der Erschöpfung gegen den objektiven Befund bis zur Umkehr beeinflussen können. Jeder kann an sich selbst beobachten, daß die Schaffenskraft in einem direkten Verhältnis zur Arbeitsfreudigkeit steht; ganz besonders der Sportsmann weiß davon zu berichten.

Der psychische Faktor spielt gerade bei Selbstversuchen eine große Rolle. Dabei sind die allgemeinen seelischen Schwankungen von einem Tag zum anderen von untergeordneter Bedeutung, zumal sich die vorliegenden Versuche über einen langen Zeitraum erstrecken. Wichtiger, weil schwer unterdrückbar, ist das Interesse an der Fortsetzung oder dem Abbrechen der körperlichen Arbeit, wenn man weiß, welches Ergebnis voraussichtlich zu erwarten ist;

man verliert die Objektivität der Beurteilung, wann der Moment der Erschöpfung da ist.

Aus diesem Grunde wurden folgende Vorsichtsmaßregeln angewandt:

1. Ich wurde während der ganzen Versuchsdauer über den Zweck jedes Einzelversuchs völlig im Unklaren gelassen.

2. Dieses wurde dadurch erreicht, daß ich die Salze in Oblaten erhielt, die ein Erkennen unmöglich machten. Außerdem erhielt ich nicht nur Alkalisalze, sondern auch acidotische und wirkungslose Gemische.

3. Die Resultate der täglichen Messungen erfuhr ich erst nach Abschluß der ganzen Versuchsarbeit.

Durch dieses Vorgehen blieb die Objektivität der Versuche in hohem Maße gewahrt, da das Interesse an zu erwartenden Resultaten genommen und auf psychischer Grundlage beruhende Leistungsänderungen sofort zu bemerken waren.

Der Versuchsreihe ging ein sechswöchiges Training auf dem Fahrradergometer voraus.

Das Training spielt bei schwerer körperlicher Arbeit eine große Rolle, besonders, wenn sie bis zur Erschöpfung durchgeführt werden soll. Der Untrainierte ermüdet rascher als der Trainierte. Durch systematisches Training läßt sich eine gewisse obere Grenze der Leistungsfähigkeit erreichen.

Man kann eine gute körperliche Uebung für erreicht halten, wenn die Arbeitsleistung sich in konstanten Werten hält. Ein weiteres Zeichen ist das Sinken der Pulsfrequenz in Ruhe, die Bradykardie, das Heruntergehen der Blutdruckwerte, ferner meist ein Verlust an Körpergewicht, zumindest aber Verlust an Fett, der durch Zunahme der Skelettmuskelmasse ausgeglichen werden kann.

Bei Beginn der eigentlichen Versuche befand ich mich in einem guten Trainingszustand: die Dauer der Arbeitsleistung war innerhalb kleiner Grenzen konstant; die Pulsfrequenz war von früher 80—90 auf 50—60 pro Minute abgesunken; die Blutdruckwerte betrugen ungefähr 100/65 mm gegen ungefähr 120/80 mm Hg vor Beginn des Trainings; das Körpergewicht war von vorher rund 78 kg auf 75 kg gesunken, was sich in einem Verlust von vorher reichlich

vorhandenem Körperfett und einer Zunahme der Muskulatur, speziell der unteren Extremitäten und des Brustkorbs, zeigte.

Die Dauer des Trainings erstreckte sich, wie schon erwähnt, über einen Zeitraum von mehreren Wochen. Dennig und seine Mitarbeiter fanden für das Laufen auf dem Laufstand konstante Werte nach etwa 4 Wochen. Meine Arbeitszeit auf dem Fahrradergometer war nach 6 Wochen auf einem konstanten Werte angelangt.

Bei Beginn der Versuche war ich völlig gesund; irgendwelche organischen Gesundheitsstörungen wurden auch während der ganzen Versuchsperiode nicht beobachtet.

Die Messungen wurden morgens nüchtern, jedesmal im Anschluß an den gleichen halbstündigen Weg (Bahnfahrt) vorgenommen. Die Bekleidung bestand in Turnhose und -schuhen.

Die eigentlichen Versuche erstreckten sich über einen Zeitraum von fast 3 Monaten. Dabei wurden in 59 Kontrollversuche 4 Alkaloseperioden und 1 Säureperiode eingeschoben.

Zu den Kontrollversuchen erhielt ich, anfangs in Abständen, später dauernd, 20,0 g Milchzucker als Täuschungssalz, um die oben angeführten psychischen Wirkungen auszuschließen. Dieses neutrale „Salz" war, wie die wirkungsvollen Salze, mit etwas Kümmelgeschmack versetzt, und von den anderen, besonders durch das Einnehmen in Oblaten, nicht zu unterscheiden.

Zu den Kalium-Versuchen nahm ich Kalium bicarbonicum und Kalium citricum entweder allein oder gemischt. Die Dosis schwankte zwischen 20,0 und 40,0 g pro die (s. Tabelle) und wurde jeweils auf 3 Portionen verteilt. Die Salze wurden, wie die anderen, am Tage vor der am Morgen stattfindenden Messung eingenommen. Es wurden 3 Versuchsperioden mit Kalium vorgenommen; die erste dauerte 2, die zweite 3 und die dritte wiederum 2 Tage.

Die Einnahme von Kaliumsalzen bereitet, wenn man sie in Substanz oder in Lösung einnehmen will, große Schwierigkeiten wegen des außerordentlich schlechten Geschmacks, der auch durch Korrigentien wie Kümmelgeschmack oder Limonade nicht zu verdecken ist. Daher wählten Keith

und Binger die Form der Applikation in Zäpfchen. Jedoch geht es per os ausgezeichnet in Oblaten. Sie verdecken völlig den Geschmack, was zugleich den Vorteil hat, daß man nicht erkennen kann, ob man ein Täuschungssalz oder ein wirkungsvolles Salz eingenommen hat. Wichtig ist es, Kaliumsalze möglichst direkt nach einer Mahlzeit einzunehmen. Treffen sie in höheren Konzentrationen auf die ungeschützte Magenschleimhaut, so rufen sie — teils durch die allgemeine Salzwirkung, teils durch die spezielle Wirkung des K-Ions — Reizzustände hervor (Poulsson). Diese äußern sich in Magenbrennen, Magenkrämpfen und Erbrechen (Keith und Binger), bei allzu hohen Dosen in Gastroenteritis (Poulsson). Ist die Magenwand durch den Speisebrei geschützt, sind die Beschwerden geringer oder aufgehoben.

Um die Wirkung der Kaliumalkalose mit den von Dennig und Mitarbeitern erzielten Ergebnissen vergleichen zu können und konstitutionelle Eigentümlichkeiten auszuschließen, wurde die letzte Versuchsperiode als Natriumalkalose durchgeführt, der eine Verabfolgung von Kaliumsalz folgte. Dazu erhielt ich über 3 Tage ein Gemisch von 35,0 g Natrium bicarbonicum und -citricum zu gleichen Teilen pro Tag. Anschließend erhielt ich am 4. Tag 30,0 g Kalium bicarbonicum.

Schließlich war noch zwischen die erste und zweite Kaliumalkalose eine Säureperiode eingeschoben worden. Dazu erhielt ich am ersten Tag 30,0 g, am zweiten Tag 15,0 g Ammoniumchlorid, das als stark säuerndes Mittel auch in die Therapie Eingang gefunden hat und von Dennig und Mitarbeitern schon früher zur Erzielung einer Acidose bei Arbeitsversuchen verwandt worden war. Der Säureversuch wurde hauptsächlich vorgenommen, um unter Beweis zu stellen, daß eine psychische Beeinflussung ausgeschaltet war.

Auf die Zusammensetzung der Nahrung brauchte ich während der ganzen Versuchsdauer keine Rücksicht zu nehmen.

Nach den Ergebnissen von Dennig, Gottschalk und Teutscher sind die Schwankungen des Säurebasenhaushaltes durch die Ernährung im Verhältnis zu meinen

Salzstößen gering, ganz besonders natürlich bei einer gemischten Kost, wie ich sie einzunehmen pflege, sodaß sie gegen die starken Wirkungen der Salzstöße in den Hintergrund treten.

In unseren Untersuchungen diente die Bestimmung der Kohlensäurespannung der Alveolarluft dazu, die Wirkung der eingenommenen Salze auf das Säure-Basen-Gleichgewicht zu kontrollieren und ungefähr den Grad der erreichten Verschiebung zu beurteilen. Die Alveolarluft wurde nach der Methode von Haldane und Priestley gewonnen und analysiert.

Weiterhin wurden noch bestimmt: Körpergewicht, Puls und Blutdruck.

Das Gewicht wurde vor und nach der Arbeitsleistung bestimmt.

Der Puls wurde vor der Arbeit nach der für die Abnahme der Alveolarluft notwendigen viertelstündigen Ruhe während einer halben Minute an der Radialis, der Arbeitspuls im Moment der Erschöpfung während einer viertel Minute am Herzen gezählt. Beide Werte sind in den Ergebnissen auf eine ganze Minute umgerechnet.

Der Blutdruck wurde in Ruhe nüchtern nach der Methode von Riva-Rocci gemessen.

Auch wurde die Temperatur des gut gelüfteten Versuchsraumes aufgezeichnet.

Ergebnisse.

In den drei Alkaliperioden am 13./14. 7., 24.—26. 8. und 3./4. 9. (s. Tabelle) bemerkte ich nach der Einnahme der Kaliumsalze außer leichtem Magenbrennen im Verlauf von 1—1½ Stunden — bis die Diurese einsetzte — die bekannten Symptome der beginnenden Tetanie: leichtes Kribbeln um den Mund und in den Extremitäten; einmal, nach Einnahme von 40 g, Gefühllosigkeit um den Mund, eigentümliche Geschmacksveränderungen, kalten Schweiß, kleinen aber regelmäßigen, etwas beschleunigten Puls, Flacherwerden der Atmung, schließlich hochgradige Parästhesien der Beine. Starke Diurese war stets vorhanden. Im Gegensatz

zu Bruman, der bei seiner Versuchsperson nach einer längeren Zufuhr von täglich 5 g Kalium als Kaliumchlorid subjektives Gefühl der Schlaffheit und Unlust fand, befand ich mich während der Alkalitage unter Kaliumsalzen in einem Zustand gehobener Stimmung, wie sie auch von Hoff für die alkalotische Stoffwechsellage beschrieben wurde, und auf die auch nach Absetzen keine Reaktion erfolgte.

Während der Natrium-Alkalose am 17.—19. 10. traten deutliche Oedeme des Gesichts, der Augenlider, der unteren Extremitäten und des Abdomens auf; das Chvostek'sche Zeichen war vorhanden. Unangenehm bemerkbar machte sich starkes Durstgefühl, das auch durch reichliche Flüssigkeitsaufnahme (Wasser, Kaffee, Tee) kaum zu stillen war. Es traten Magen-Darmbeschwerden in Form von Durchfall und am anderen Morgen leichte Blasenschmerzen auf. Durch die anschließende Verabfolgung von Kalium am 20. 10. setzte sehr starke Harnflut ein; die Symptome machten denen der Kaliumalkalose Platz.

Wie aus den in der Tabelle aufgezeichneten Ergebnissen der Fahrdauer bis zur Erschöpfung hervorgeht, war ich bei Beginn der Versuche nach einem sechswöchigen Training auf konstanten Werten angelangt. Die Leistungszeiten entsprechen dem für 45 Kontrolltage mit und ohne Täuschungssalz errechneten

Mittelwert von 11' 25"

(jeweils 3 Tage nach einem Versuch unter wirkungsvollem Salz sind wegen der Nachschwankungen ausgelassen).

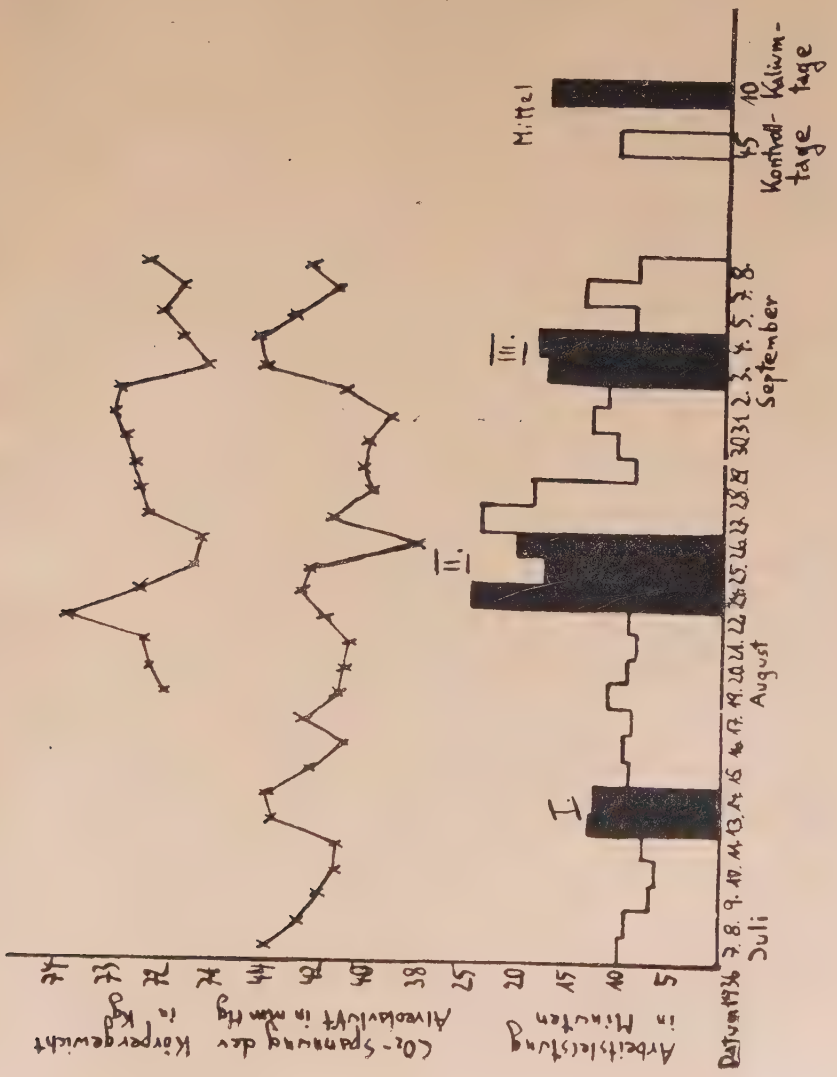
Das anfängliche Absinken der Leistung nach dem Täuschungssalz am 8.—11. 7. (s. Tabelle) ist einer psychischen Wirkung zuzuschreiben, desgleichen das Ansteigen der Leistung am 13. 8. und 15. 10., an denen ich nach einer längeren, vollkommen salzfreien Periode das Täuschungssalz erhielt. Die Werte sind aber einmalig und gehen am darauf folgenden Tag wieder auf den ungefähren Mittelwert. Die, wenn auch nur zweimal für je einen Tag gefundenen psychischen Einwirkungen zeigen, daß das Vorgehen, mit Täuschungssalz Kontrollversuche anzustellen, bei Leistungsprüfungen vorliegender Art unbedingt notwendig ist.

Im ersten Alkaliversuch am 13./14. 7. (s. Abb. I schwarze Säule und Tabelle) stieg unter 2 Tage langer Gabe von je 20 g Kalium citricum die Leistung auf

12′ 55″ und 12′ 45″.

Dies bedeutet gegen den Mittelwert von 11′ 25″ eine geringe aber deutliche Steigerung.

Abb. I.



Die zweite Alkaliperiode am 24.—26. 8. (s. Abb. I und Tabelle), während der ich täglich ein Gemisch von 10 g Kalium bicarbonicum + 10 g Kalium citricum erhielt, zeigt ein deutlicheres Ansteigen der Werte. Die Arbeitsleistung steigt auf

25′ 13″, 17′ 50″ und 20′ 35″.

Dies entspricht gegenüber dem Mittelwert einer Steigerung der Arbeitsdauer um 50—120 %.

Im dritten Alkaliversuch am 3./4. 9. (s. Abb. I und Tabelle) in der ich zum ersten Tage 40 g und zum zweiten Tage 20 g eines Salzgemisches einnahm, das zu gleichen Teilen aus Kalium bicarbonicum und Kalium citricum bestand, steigt die Leistungsdauer auf

17′ 40″ und 18′ 40″,

d. h. um mehr als 50 %.

Im Mittel (s. Abb. I) entspricht die Leistungssteigerung durch Alkalisierung mittels Kaliumsalzen vom Mittelwert 11′ 25″ in den Kontrollversuchen auf 17′ 57″ einer Verbesserung um

6′ 32″ = 63,6 %.

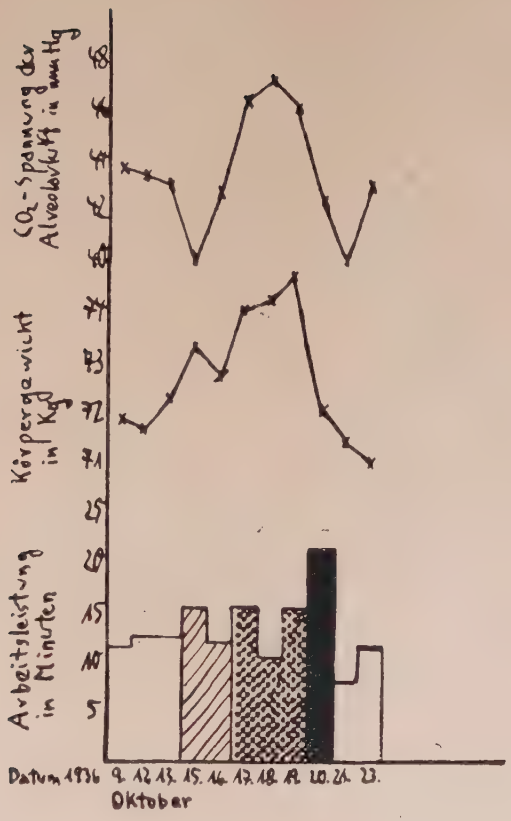
Diese Ergebnisse stehen in Uebereinstimmung mit denen von Dennig und seinen Mitarbeitern. Auch die durch Kaliumsalze hervorgerufene Alkalose wirkt leistungssteigernd.

Um einen genauen Vergleich mit diesen Ergebnissen zu erzielen, die unter Alkalisierung mit Na-Salzen gefunden waren, seien die Werte der vierten Alkaliperiode am 17.—20. 10. mitgeteilt (s. Abb. II und Tabelle), die unter Natriumsalz mit anschließender Verabfolgung von Kaliumsalz gefunden wurden. Hierzu nahm ich am ersten Tage 10 g Natrium bicarbonicum + 20 g Natrium citricum, am zweiten Tage 30 g Natrium bicarbonicum + 15 g Natrium citricum, am dritten 30 g Natrium citricum + 15 g Natrium bicarbonicum, am vierten Tage 30 g Kalium bicarbonicum. Auch hier steigt die Leistung an, jedoch nicht in dem Maße, wie in den früheren Versuchsperioden unter Kaliumsalz allein. Dies ist zurückzuführen auf Durchfälle und herabgesetztes Allgemeinbefinden, was besonders am 2. Tage zum Ausdruck kommt, an dem die Arbeitsleistung noch nicht einmal ganz den Mittelwert erreicht. Nach dem Einnehmen von Kaliumsalz steigt die Leistung höher, nämlich auf 21′ 20″, hier hatte aber auch der Durchfall aufgehört und das Befinden war nicht gestört.

Die von Becker-Freyseng*) nach Absetzen der Alkalizufuhr gefundene reaktive Acidose mit Herabsetzung der Leistung kommt nach der ersten und vierten Alkaliperiode deutlich zum Ausdruck.

*) Lit. Becker, H.

Abb. II.



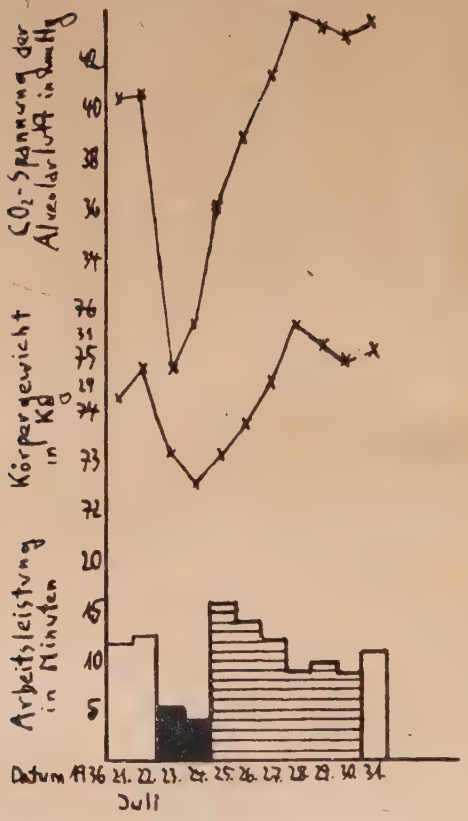
Im Säureversuch am 23./24. 7. (s. Abb. III **schwarze** Säule und Tabelle) fällt die Arbeitsleistung deutlich ab; sie beträgt

5′ 15″ und 4′ 5″.

Damit ist das unbeeinflußte Verhalten der Versuchsperson sichergestellt.

Nach Abbrechen der Säurezufuhr findet sich in der Arbeitsleistung die von Dennig und Mitarbeitern erwähnte reaktive Alkalose ausgeprägt. In dieser reaktiven Phase findet sich auch bei mir eine Steigerung der Arbeitsleistung (s. Abb. III schraffierte Säulen und Tabelle).

Abb. III.



Die Werte der alveolaren Kohlensäurespannung (s. Tabelle u. Abb. I.—III. Kurve) zeigen, daß durch die alkalischen und sauren Salze die beabsichtigte Verschiebung im Säurebasenhaushalt des Körpers erzielt worden ist.

Die CO_2-Spannung ändert sich in bekannter Weise: unter Alkalizufuhr steigt, unter Säurezufuhr sinkt sie. In welchem Maße die tatsächliche Wasserstoff-Ionenkonzentration sich verschiebt, ist in den Versuchen nicht untersucht worden. Eine grobe Aenderung des Blut-pH ist mit dem Leben unvereinbar; der Organismus des Gesunden schlägt jeden Angriff durch vielfältige Regulationsmechanismen sofort zurück. Gleichwohl fanden Dennig und Mitarbeiter durch Arterienpunktion bei künstlicher Acidose und Alkalose Schwankungen des pH zwischen 7,16 und 7,43.

Der Vergleich zwischen den Kurven der CO_2-Spannung und der Arbeitsleistung zeigt, daß aus der Höhe der Kohlensäurespannung nicht unmittelbar auf die Leistungsgröße geschlossen werden kann: die Aenderung der Leistung steht nicht in einem linearen Verhältnis zur Höhe der Kohlensäurespannung. „Der Eintritt der Erschöpfung ist nicht an absolute Zahlen des pH gebunden, sondern wahrscheinlich an die Aenderung der H-Ionenkonzentration in der Zeiteinheit". (Dennig und Mitarbeiter).

Nach Brustmann spielt die Frage des Körpergewichts zur Erzielung eines optimalen Kraft-Last-Verhältnisses bei der körperlichen Arbeitsleistung eine große Rolle. Diese Frage wird aber im allgemeinen weniger beachtet, abgesehen von Sportarten, in denen eine bestimmte Gewichtsgrenze vorgeschrieben ist.

Im Training findet sich zumeist ein Abbau von belastendem Fett, die Muskelmasse nimmt zu unter gleichzeitiger Wasserverarmung; der Muskel wird „härter". Soweit im trainierten Zustand Gewichtsveränderungen festzustellen sind, sind diese — natürlich bei einigermaßen gleichbleibender Ernährung — fast gänzlich auf den Wasserhaushalt zu beziehen.

Grobe Abweichungen vom Normalgewicht, ganz besonders im Sinne einer Gewichtserhöhung, wirken leistungsmindernd (Brustmann). Wie schon erwähnt, wäre es denkbar, daß eine Aenderung im Körpergewicht in den Mechanismus der alkalotischen Leistungssteigerung eingreift. Hier liegt vielleicht ein Einfluß der spezifischen Wirkung des K-Ions: Die Veranlassung einer Gewichtsverminderung durch die Diurese, die sich nach den Ergebnissen des Natrium-Kalium-Versuchs (s. Abb. II) zu der alkalotischen Leistungssteigerung hinzuaddieren würde. Das Natrium führte bei mir zu Wasserretentionen von 1,35 bis 2,05 Liter gegen den Vortag. Brustmann macht auf die Methode mancher Sportler aufmerksam, künstliche alkalische „Salzwürzen" zu benutzen; dies führe, da es sich meistens um Verbindungen des Natrium handelte, zu Wasserretention und leistungsmindernder Gewichtserhöhung. Auch bei mir führten die Natrium-Salze zu einer Gewichtserhöhung, die jedoch die alkalotische Leistungssteige-

rung nicht verhindern konnte. Daß die Werte nicht die Höhe der in den anderen Alkalose-Versuchen erzielten Werte erreichten, liegt wahrscheinlich an dem durch die Durchfälle herabgesetzten Allgemeinbefinden, könnte aber auch in Beziehung zu der Gewichtserhöhung zu bringen sein; denn als ich durch die Kaliumdiurese 2,7 kg innerhalb 24 Stunden abgenommen hatte, stieg die Leistung noch höher.

Dennig und Mitarbeiter warfen ferner die Frage auf, ob der Schweißabgabe während der Arbeit eine regulatorische Funktion bei der alkalotischen Leistungssteigerung zukomme. Für die Alkalose unter Natriumsalzen war gefunden worden, daß die Versuchspersonen entsprechend dem höheren Wassergehalt des Körpers stärker schwitzten und dieses allerdings subjektiv unangenehme Verhalten durch die bessere Wärmeregulation mit zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit beitragen könnte, im Gegensatz zur Acidose, wo entsprechend dem geringeren Wassergehalt eine weit geringere Schweißbildung vorhanden war.

Die Gewichtsverminderung während der Arbeit ist praktisch als Wasserverlust zu werten; die Differenz zwischen dem Körpergewicht vor und direkt nach der Arbeit entspricht der durch Schweiß und Atmungsluft abgegebenen Wassermenge.

Dem Schwitzen kommt eine physikalische Regulation bei der Arbeit zu. Vermindertes Schwitzen führt zu einer Erhöhung der Körpertemperatur, die bei Erhöhung auf mehr als 39,5° leistungsmindernd wirkt (Knoll, Herxheimer u. a.). Der Wasserverlust selbst ist abhängig von Konstitution, Art und Dauer der geleisteten Arbeit und einer Reihe von Umweltfaktoren, wie z. B. Temperatur und Feuchtigkeitsgehalt der Luft.

Becker-Freyseng fand in seinen Versuchen keine Abhängigkeit des Wasserverlustes während der Arbeit von der durch die Natriumretention bedingten Wasseransammlung im Organismus und von der Dauer der Arbeit. Die alkalotische Leistungssteigerung war bei ihm nicht an den erhöhten Wasserverlust während der Arbeit gebunden.

In meinen Kontrollversuchen schwankt der Wasserverlust (s. Tabelle) zwischen 50 und 400 g; eine Abhängigkeit

von der Dauer der Arbeitsleistung und der Umgebungstemperatur ist nicht festzustellen. Im Säureversuch beträgt die Gewichtsabnahme 150 und 200 g, trotz der vorausgegangenen Diurese und der kurzen Arbeitsdauer; hier ist der Wasserverlust wohl zum Teil auf die verstärkte Atmung zu beziehen. In den Kaliumversuchen halten sich die Werte zwischen 150 und 400 g, ebenfalls nicht gebunden an die Dauer der Arbeitsleistung.

Die Ergebnisse zeigen, daß die alkalotische Leistungssteigerung nicht an einen erhöhten Wasserverlust während der Arbeit gebunden ist. Dies kommt auch zum Ausdruck im Natrium-Kaliumversuch. Der Gewichtsverlust ist zwar am ersten Tag auf 500 g erhöht und beträgt auch noch am zweiten Tag bei kürzerer Arbeitsleistung 200 g, beträgt aber am dritten Tag trotz gleicher Leistung wie am ersten Tage 150 g. Am ersten Tag hatte aber der Körper 1,35 l Wasser retiniert, am dritten Tag 2,05 l. Nachdem ich bis zum darauffolgenden Tag unter Kalium 2,7 kg durch Diurese abgenommen hatte, betrug der Gewichtsverlust ebenfalls 150 g.

Die Pulsfrequenz (s. Tabelle) zeigt in Ruhe die für den trainierten Zustand typische Bradykardie. Sie schwankt in 45 Kontrollversuchen — nach Abzug von je 3 Tagen nach jeder Versuchsperiode — zwischen 46 und 60. Der Mittelwert beträgt 54,1.

In der ersten Alkaliperiode (13./14. 7.) ist der Puls mit 62 und 62 gegen die Vortage und gegen den Mittelwert erhöht. Nach Absetzen sinkt er kontinuierlich und erreicht am dritten Tage 48.

Die zweite Alkaliperiode (24.—26. 8.) zeigt kein einheitliches Bild: 48, 60 und 56; nach Absetzen 56, 44 und 49.

In der dritten Alkaliperiode (13./14. 9.) besteht eine Steigerung gegen die Vortage (49), aber nicht über den Mittelwert hinaus: 55 und 52; nach Absetzen ein steiler Anstieg auf 60, weiterhin 52.

Der Durchschnittswert für die Alkalitage unter Kalium beträgt 56,4 gegen 54,1 an den Kontrolltagen. Im Natrium-Kaliumversuch (17.– 20. 10.) beträgt die Zahl der Pulsschläge am ersten Tage 60; die beiden folgenden Tage zei-

gen mit 46 und 48 Pulsschlägen die von Becker-Freyseng beobachtete Pulsverlangsamung. Am vierten Tage in Kaliumalkalose ist ein nur geringes Ansteigen des Pulses auf 51 Schläge zu verzeichnen.

Eine deutliche Abhängigkeit von Pulsfrequenz und Alkalose unter Kaliumzufuhr ist demnach nicht festzustellen.

Die Zählung des Arbeitspulses läßt erkennen, daß dieser sich nicht einheitlich verhält. So finden sich z. B. folgende Werte:

1.	in den Leer- und Täuschungsversuchen			
	am 4. 7.	bei einer Arbeitsdauer von	11′ 00″:	120 Schläge
	am 9. 7.	„	7′ 10″:	168 „
	am 8. 8.	„	11′ 5″:	176 „
	am 8. 10.	„	10′ 52″:	152 „
2.	in den Alkaloseversuchen			
	am 24. 8.	bei einer Arbeitsdauer von	25′ 13″:	152 Schläge
	am 26. 8.	„	20′ 35″:	200 „
	am 3. 9.	„	17′ 45″:	160 „
	am 20. 10.	„	21′ 20″:	156 „
3.	im Säureversuch			
	am 23. 7.	bei einer Arbeitsdauer von	5′ 15″:	168 „
	am 24. 7.	„	4′ 5″:	204 „

Da die Anstrengungstachykardie das Resultat sehr komplexer Vorgänge ist, abhängig außer von der Dauer der muskulären Leistung von der Ausgangsfrequenz, Temperatur, Tonus des vegetativen Nervensystems u. a., ist es nicht zu erwarten, ein gesetzmäßiges Verhalten unter Alkali- und Säurezufuhr zu finden, zumal schon die Dauer der Arbeitsleistung bis zur Erschöpfung schwankt. Auf jeden Fall ist es nicht angängig, von der Höhe des Arbeitspulses auf den Zustand der Erschöpfung zu schließen. Ein hoher Arbeitspuls ist z. B. während des toten Punktes vorhanden; eine Ueberschreitung der kritischen Grenze der Herzschlagzahl von ca. 180 braucht, wie die II. Alkaliperiode (24.—26. 8.) zeigt, nicht zu einer Minderung der Leistung zu führen. Andererseits ist ein relativ niedriger Arbeitspuls kein objektiver Beweis, daß die Erschöpfung nicht eingetreten ist.

Die vor der Arbeitsleistung gemessenen Blutdruckwerte (s. Tabelle) zeigen in den Kontrollversuchen für

den trainierten Zustand recht niedrige Werte. Die Maximalwerte halten sich um 100 mm, die diastolischen Werte um 65 mm Hg. Die Schwankungen fallen in den Fehlerbereich der Meßmethode. Die Erhöhung des Blutdruckes bei der ersten Messung am 6. 7.. (115/95) kann auf psychischer Grundlage beruhen.

Wasserverarmung der Gewebe, auch Verarmung an Natrium, führt nach Glatzel zur Blutdrucksenkung. Da durch Kaliumverabreichung mit der Wasserausscheidung auch die Natriumausscheidung erhöht ist, könnte in den Kaliumversuchen ein Sinken des Blutdruckes erwartet werden. Dies stände auch im Einklang mit dem in der Literatur von vielen Autoren angegebenen vagotonen Einfluß des K-Ions. Nach meinen Messungen ist das aber nicht der Fall. In den Versuchsperioden unter Kalium sind keine Schwankungen nach oben oder nach unten festzustellen, die außerhalb der Fehlergrenze liegen.

Anders in dem Natriumversuch. Hier steigen sowohl die systolischen als auch die diastolischen Werte deutlich an. Vielleicht liegt außer in den Durchfällen und dem dadurch herabgesetzten Allgemeinbefinden in den Verhältnissen des Kreislaufs ein Faktor dafür, daß ich unter der Natriumwirkung am zweiten Tag (18. 10.) unterhalb der normalen Leistungsdauer erschöpft war. Der Blutdruck betrug hier 120/90 bei 46 Pulsen gegenüber dem ungefähren Durchschnitt von 100/65 mm Hg bei 54 Puls. Unter der anschließenden Gabe von Kalium fällt der systolische Wert zur Norm ab, der diastolische bleibt hoch. Nach Beendigung der Versuchsperiode erreichen beide dann wieder den normalen Stand.

Eine Verkleinerung der Amplitude ist sonst unter Kalium nicht zu bemerken.

Zusammenfassung.

1. In Selbstversuchen wird unter Ausschaltung subjektiver Einflüsse die Beobachtung von Dennig und seinen Mitarbeitern bestätigt, daß nach künstlicher Alkalizufuhr eine Steigerung der körperlichen Leistungsfähigkeit eintritt.

Die künstliche Alkalisierung wurde mit Salzen des Kalium erzielt. Die bisher vorliegenden Ergebnisse werden dahingehend erweitert, daß die Leistungssteigerung auch bei Verwendung eines Kations zu erzielen ist, das im Organismus in einem gewissen Antagonismus zu dem bisher verwandten, dem Natrium, steht.

Die Leistungssteigerung ist daher der Effekt einer alkalotischen Verschiebung des Säure-Basen-Haushaltes. Sie beträgt 50—120 %, im Mittel 63,6 %. Ein Vergleichsversuch mit den Salzen des Natrium ergibt bei mir, daß der Alkaloseeffekt unter Natrium etwas geringer als unter Kalium ist. Dieses ist im wesentlichen auf Unpäßlichkeit während des Versuches zurückzuführen.

2. Die Messung der CO_2-Spannung der Alveolarluft ergibt, daß die Verabfolgung der Salze die beabsichtigte Einwirkung auf den Säure-Basen-Haushalt erreicht hat.

3. Die Feststellung des Körpergewichts ergibt, daß das K-Ion durch seine diuretische Wirkung eine Verminderung des Gewichts erzielt, die vielleicht die alkalotische Leistungssteigerung zusätzlich günstig beeinflußt.

Die alkalotische Leistungssteigerung ist aber nicht an eine Erhöhung oder Erniedrigung des Wasserstoffwechsels gebunden.

4. Die Beobachtung des Ruhepulses ergibt für Kalium eine leichte Steigerung, für Natrium eine geringe Verlangsamung.

Die Werte des Arbeitspulses lassen keine Abhängigkeit von Salzzufuhr und Arbeitsleistung erkennen.

5. Die Blutdruckwerte zeigen bei Kaliumzufuhr ausgesprochene Konstanz. Bei Natriumzufuhr steigt der Blutdruck unter gleichzeitiger Bradykardie an.

Zum Schluß der Arbeit sei es mir gestattet, Herrn Dr. Becker-Freyseng für die freundliche Unterstützung bei der Durchführung der Arbeit meinen besten Dank auszusprechen.

Literatur-Verzeichnis.

Becker, H.: Inaug.-Diss. (Med.), Berlin 1936.

Bethe-Bergmann: Handb. d. norm. u. pathol. Physiol., 15. Bd., 1. u. 2. Hälfte, Berlin 1930/31; Verlag J. Springer.

Bruman, F.: Dtsch. Arch. klin. Med. 176, 1933.

Bruman, F., Jenny, F.: Arbeitsphys. 9, 1936.

Brustmann, M.: Dtsch. med. Wschr., Sonderausgabe z. d. XI. Olymp. Spielen, 1.—16. Aug. 1936.

Dennig, H., Dill, D. B., Talbot, J. H.: Arch. f. exp. Path. u. Pharm. 144, 1929.

Dennig, H., Peters, K., Schneikert, O.: Arch. f. exp. Path. u. Pharm. 165. 1932.

Dennig, H., Gottschalk, H. J., Teutscher, L.: Arch. f. exp. Path. u. Pharm. 174, 1934.

Dennig, H., Talbot, J. H., Edwards, H. T., Dill, D. B.: Journ. of clin. invest. Vol. IX, 4, 1931.

Glatzel, H.: Med. Welt, 1936, 47.

Hasselbalch, Bohr u. Krogh: Skand. Arch. f. Physiol. XVI, 402.

Hasselbalch u. Lundsgaard: Skand. Arch. f. Physiol. XXVII, 13.

Herxheimer, H.: Z. klin. Med. 98, 1923.

Hill, A. V., Lupton, K.: Quarterly Journ. of med. 62, 1923.

Hill, Long u. Lupton: Proc. of roy. soc. of London, B, 97/98, 1923/24.

Hoff, F.: Münch. med. Wschr. 1935, 1478.

Keith, M., Binger, W.: Journ. of amer. med. assig. 105, 1935.

Knoll, W., Arnold, A.: Norm. u. path. Physiol. der Leibesübungen, Leipzig 1933, Verlag J. A. Barth.

Landois-Rosemann: Lehrb. d. Physiol., Berlin-Wien 1929, Verlag Urban u. Schwarzenberg.

Mainzer u. Jaffé: Z. exp. Med. 59, 1928.

Matsuka, H.: Pflüg. Arch. 202, 1924.

Meyerhof: Pflüg. Arch. 188, 1921; 191, 1921.

Poulsson, E.: Lehrb. d. Pharmakol., Leipzig 1934, Verlag S. Hirzel.

Schenk, P.: Med. Welt, 1936, 43 u. 45.

Snapper u. Grünbaum: Nederl. Tijdschr. geneesk. 1928, 11.

Straub, H.: Erg. inn. Med. u. Kdhlkd. 25, 1924.

Walinski, F.: Veröff. a. d. Gebiete d. Heeressanitätswesens, Berlin 1925, H. 78.

Weiß, St. u. Dunay: Z. exp. Med., 59, 1928.

Zondek, S. G.: Die Elektrolyte, Berlin 1927, Verlag J. Springer.

Lebenslauf.

Am 11. Dezember 1913 wurde ich, Wolfgang Albath, Sohn des Ministerialrats im Reichskriegsministerium Max Albath und seiner Ehefrau Margarete, geb. Kröger, zu Berlin-Friedenau geboren. Nach der Grund- und Vorschule besuchte ich ab 1923 das humanistische Bismarck-Gymnasium zu Berlin-Wilmersdorf und legte dort 1932 die Reifeprüfung ab.

Danach begann ich mein medizinisches Studium in Berlin, bestand in Freiburg/Br. die ärztliche Vorprüfung und setzte mein klinisches Studium dort und die letzten vier Semester in Berlin fort. Hier bestand ich am 1. Februar 1938 das ärztliche Staatsexamen mit dem Prädikat „gut".

Seitdem war ich vom 15. Febr. bis 15. Nov. 1938 als Medizinal-Praktikant in der IV. medizinischen Universitätsklinik im Robert Koch-Krankenhaus zu Berlin und danach in der gleichen Eigenschaft am pharmakologischen Institut der Universität Berlin, wo ich bis zum 1. September 1939 als wissenschaftlicher Mitarbeiter blieb. Darauf wurde ich als Hilfskassenarzt dienstverpflichtet und im Frühjahr 1940 zur Wehrmacht einberufen.